第 38 卷第 10 期 2018 年 5 月 | 生态学报 ACTA ECOLOGICA SINICA | Vol.38,No.10 May,2018

DOI: 10.5846/stxb201704120641
叶铎,钱海源,王璐瑶,金芳梅,倪健,陈声文,宋云峰,陈建华.钱江源国家公园古田山常绿阔叶林木本植物的萌生更新特征.生态学报,2018,38(10):3562-3568.
Ye D, Qian H Y, Wang L Y, Jin F M, Ni J, Chen S W, Song Y F, Chen J H.Sprouting characteristics of woody species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Gutianshan of Qianjiangyuan National Park, East China.Acta Ecologica Sinica,2018,38(10):3562-3568.

钱江源国家公园古田山常绿阔叶林木本植物的萌生更新特征

叶　铎[1],钱海源[2],王璐瑶[1],金芳梅[1],倪　健[1],陈声文[2],宋云峰[1],陈建华[1,*]
1 浙江师范大学化学与生命科学学院, 金华　321004
2 钱江源国家公园生态资源保护中心, 开化　324300

摘要:萌生更新是木本植物在原位进行更新的有效手段,使群落具有较强的恢复力。但以往研究侧重于实生更新,森林中木本植物的萌生更新特征及其在森林群落中的地位仍未得到足够理解。基于钱江源国家公园古田山国家级自然保护区内 5 hm^2 亚热带常绿阔叶林样地的群落数据,分析木本植物萌生更新的数量特征,同时对不同分类单元、不同功能类群的萌生能力等进行比较。结果表明:(1) 样地内 64%的物种、20%的实生个体已经发生萌生更新现象,且萌生茎的数量占样地总个体数量的 24%;(2) 物种水平与科水平上,萌生能力均表现为显著差异($F=13.11, P<0.001$;$F=27.45, P<0.001$)。腺蜡瓣花、柳叶蜡梅、宜昌荚蒾、窄基红褐柃、美丽马醉木等物种的萌生能力较强,蜡梅科、忍冬科、木兰科、壳斗科等类群的萌生能力较强;(3) 不同垂直结构层次(林冠层、亚乔木层、灌木层)的萌生能力差异显著($F=117.5, P<0.001$),灌木层物种的萌生能力是林冠层与亚乔木层的 1 倍左右。不同生活型(常绿组分与落叶组分)的萌生能力差异显著,常绿类群的萌生能力显著高于落叶类群($P<0.001$)。萌生更新在亚热带常绿阔叶林中具有重要地位,可能是物种多样性维持、群落更新与演替的机制之一。灌木物种与常绿物种有着较强的萌生能力,暗示着萌生可能是植物适应荫蔽环境的生态策略之一。

关键词:萌生;更新;功能群;常绿阔叶林;古田山;钱江源国家公园

Sprouting characteristics of woody species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Gutianshan of Qianjiangyuan National Park, East China

YE Duo[1], QIAN Haiyuan[2], WANG Luyao[1], JIN Fangmei[1], NI Jian[1], CHEN Shengwen[2], SONG Yunfeng[1], CHEN Jianhua[1,*]
1 *College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua* 321004, *China*
2 *Ecological Resource Protection Center, Qianjiangyuan National Park, Kaihua* 324300, *China*

Abstract: Sprouting, an effective means of regeneration in woody plants, gives the forest community a great resilience. However, most previous studies focused on seedling regeneration, so the importance of sprouting regeneration in forests are still not well understood. Using a 5 hm^2 plot of subtropical evergreen broad-leaved forest in Gutianshan National Nature Reserve of Qianjiangyuan National Park, we quantitatively analyzed the characteristics of sprouting in woody plants, and the variations of the sprouting abilities of different taxa and different functional groups. Results showed that: (1) 64% of species and 20% of individuals had sprouted, and sprouted stems accounted for 24% of the total individuals in the plot. (2) There were significant differences in sprouting ability both on the species level and on the family level ($F=13.11$, $P<$

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LY17C030001); 国家自然科学基金面上项目(41471049)
收稿日期:2017-04-12;　　**网络出版日期**:2018-02-01
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: sky78@zjnu.cn

0.001; $F=27.45$, $P<0.001$). More precisely, the species *Corylopsis glandulifera*, *Chimonanthus salicifolius*, *Viburnum erosum*, *Eurya rubiginosa* var. *attenuata*, and *Pieris formosa*, and those in Calycanthaceae, Caprifoliaceae, Magnoliaceae, and Fagaceae had high sprouting abilities. (3) There were significant differences among different vertical structure layers in sprouting ability ($F=117.5$, $P<0.001$), and the sprouting abilities of species in the shrub layer were about twice those in the canopy layer and sub-canopy layer. Significant differences in sprouting ability were also detected between different life forms (evergreen *vs.* deciduous), where the sprouting ability in evergreen groups was higher than that in deciduous groups ($P<0.001$). Sprouting regeneration plays an important role in subtropical evergreen broad-leaved forest and may be one of the mechanisms related to species diversity maintenance and community succession. Shrub species and evergreen species have strong sprouting ability, implying that sprouting may be a plant strategy for shade tolerance.

Key Words: sprouting; regeneration; functional groups; evergreen broad-leaved forest; Gutianshan; Qianjiangyuan National Park

萌生更新是木本植物生活史中一种重要的更新策略[1-3]。萌生更新较实生更新所需时间短。很多木本植物可以通过萌生策略产生新的枝干,迅速补充干扰造成的生物量损失[4]。萌生更新是森林遭受干扰后进行自我恢复重建的有效手段,使群落具有较强的恢复力[5-6]。萌生更新是原位更新,有利于植株持续占据原有生态位[3,7],促进个体生存与延长个体寿命[8-10],使群落具有较强的稳定性。然而,以往的森林群落研究多关注实生更新,忽略了萌生更新与实生更新的差别。

萌生更新在森林生态系统中普遍存在[3, 11]。森林树种的萌生方式主要以树干基部的萌生为主,形成多茎干的萌生植株[12-13],尤其多见于灌丛等低矮的森林类型[14]。然而,在高大的森林类型中萌生树种以及个体数量也占有优势比例[12,15]。萌生能力存在种间差异[16],不同森林类型具有不同的物种组成,从而每种森林类型的萌生更新格局不同[15]。不同功能类群如乔木与灌木,具有高度、径级以及生境差异,是否也会产生不同的萌生能力,最终出现不同的生态学过程与效应?深入了解不同进化单元与功能群单元的萌生更新特征,对于认识森林群落的物种共存特征与更新动态是必要的。

分布于我国的亚热带常绿阔叶林具有面积广、发育典型、生物多样性丰富的特点,是全球常绿阔叶林的主体,具有重要的环境与生态效益[17]。但由于资源开发利用过度,人类干扰对天然常绿阔叶林植被的影响巨大,大部分原生常绿阔叶林均被次生森林或退化灌丛所取代,植被的生态恢复任务艰巨。钱江源国家公园古田山国家级自然保护区地处亚热带常绿阔叶林区域,保存有完好的常绿阔叶林[18]。前期研究发现,该常绿阔叶林群落内树种存在萌生现象,且群落萌生更新可能是维持群落生物多样性的机制之一[19]。然而,树种的萌生更新特征仍未能得到深入观察。本研究基于钱江源国家公园古田山亚热带常绿阔叶林 5 hm^2样地的群落数据,分析了木本植物萌生更新的基本特征,通过比较不同物种、不同分类群、不同功能群之间的萌生特征的差异,以期认识萌生树种在森林群落中的地位,为亚热带常绿阔叶林的有效保护与退化植被的恢复重建提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究地概况

5 hm^2样地(南北宽 200 m,东西长 250 m)位于钱江源国家公园古田山国家级自然保护区内(29°10′19.4″—29°17′41.4″N,118°03′49.7″—118°11′12.2″E)。该地处中亚热带湿润季风区,年平均温度 15.3℃,7 月平均温 27.6℃,1 月平均温 4.1℃。年平均降水量 1963.7 mm,相对湿度 92.4%。主要植被类型有常绿阔叶林(350—800 m)、针叶阔叶混交林(800—1100 m)和针叶林(1100 m 以上)等,常绿阔叶林是主要植被类型[18]。样地按 The Center for Tropical Forest Science (CTFS)的调查标准建立[20],共发现 147 个树种,隶属 46 科 100 属。甜槠(*Castanopsis eyrei*)、木荷(*Schima superba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)、柳叶蜡

梅(*Chimonanthus salicifolius*)等是样地中的优势物种。本次研究采用 2007 年的调查数据,并选取固定样地中的 200 m×240 m 区域(内部划分为 120 个 20 m×20 m 的小样方)来研究群落与物种萌生更新特征。

1.2 萌生指标与功能群划分

本次研究以多茎干树种(multi-stemmed trees)的萌生现象来代表萌生更新, 即新的茎干从主茎基部萌生出来, 形成一丛多茎干的萌生植株。在样地调查时, 记录萌生树种的种类、主茎胸径、新茎的数量与胸径等。

取样单元(20 m × 20 m)中,物种萌生能力=该物种的萌生个体数量/该物种总个体数量,代表群落内该物种发生萌生的强度。分类群水平或功能类群水平的萌生能力=该类群所有物种的萌生个体数量/该类群所有物种的总个体数量,代表群落内该类群发生萌生的强度。分类群水平分别在物种水平与科水平进行比较,物种水平以出现样方数多于 3(含 3)的 124 个物种进行萌生能力比较,科水平以出现样方数多于 3(含 3)的 41 个科进行萌生能力比较。功能类群分为垂直结构层功能群和生活型功能群,其中垂直结构分为林冠层、亚乔木层和灌木层,生活型分为常绿类型与落叶类型。垂直结构层与生活型水平均以 120 个样方进行萌生能力比较。

1.3 数据分析

统计分析与作图在软件 R 3.3.1 中完成[21]。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验物种水平、科水平、垂直结构水平上的萌生能力的差异性,采用 *t*-test 检验常绿与落叶类群萌生能力之间的差异性。

2 结果

2.1 样地内萌生树种的组成特征

样地内共有 94 个树种发生了萌生更新现象(表 1),隶属 33 科 60 属,科、属、种水平上的萌生比例分别为 71.74%、60%与 63.95%。样地内共记录总茎干数量 23450 株,其中单茎干数量 14420 株(占 61.49%),多茎干数量 9030 株(占 38.51%)。多茎干萌生植株中,主茎 3486 株,萌生茎 5544 株。单茎干植株中,具有潜在萌生能力的个体总数为 13961 株,占样地总茎干数量的 59.54%。样地内有 53 个树种始终未发现萌生现象,这类树种个体数量仅 459 株。

表 1 萌生更新的个体数量组成特征

Table 1 Composition characteristics of the sprouting individuals in 5 hm^2 plot

更新对策 Regeneration strategy	物种数 Species richness	比例 Proportion	个体数 Individuals	比例 Proportion
1. 单茎干(未萌生) Single-stemed trees			14420	0.615
1.1 非萌生 Non sprouters	53	0.36	459	0.020
1.2 潜在萌生 Potential sptouters			13961	0.595
2. 多茎干(已萌生) Multi-stemmed trees	94	0.64	9030	0.385
2.1 主茎 Stems			3486	0.149
2.2 萌生茎 Sprouting stems			5544	0.236
总计 Total	147	1	23450	1

2.2 不同分类群水平的萌生能力差异

物种水平上,各树种的萌生能力差异显著(表 2,$F=13.11$,$P<0.001$)。其中,腺蜡瓣花(*Corylopsis glandulifera*)、柳叶蜡梅、宜昌荚蒾(*Viburnum erosum*)、窄基红褐柃(*Eurya rubiginosa* var. *attenuate*)、美丽马醉木(*Pieris formosa*)、黄山木兰(*Magnolia cylindrica*)的萌生能力均超过了 50%(表 3)。尤其是柳叶蜡梅、青冈和石栎(*Lithocarpus glaber*),不仅个体数量大,而且在群落中分布广泛(表 3)。萌生能力较强的前 20 个树种在各个垂直结构层次均有分布,且常绿物种较多(表 3)。

科水平上,各个科的萌生能力差异显著(表 4,$F=29.58$,$P<0.001$)。其中,蜡梅科、忍冬科、木兰科、壳斗科等的萌生能力较强(表 5)。山茶科、壳斗科、杜鹃花科和蜡梅科的个体数量较大,且分布广泛(表 5)。

表 2　物种水平的萌生能力差异

Table 2　Variations in sprouting capacity at species level in 5 hm^2 plot

方差分析 ANOVA	自由度 *df*	平方和 Sum Sq	均方和 Mean Sq	*F* 值 *F* value	*P* 值 Pr(>*F*)
物种 Species	123	119.1	0.9684	13.11	$<2\times10^{-16}$
残差 Residual	3811	281.2	0.0739		

表 3　萌生能力最强的前 20 个物种的基本特征

Table 3　Sprouting abilities of top 20 species in 5 hm^2 plot

物种 Species	个体数 Individuals	出现的样方数 Plot number of occurrence	萌生能力 Sprouting ability	垂直结构层 Vertical layers	生活型 Life forms
腺蜡瓣花 *Corylopsis glandulifera*	397	29	0.78±0.27	U	D
柳叶蜡梅 *Chimonanthus salicifolius*	3233	113	0.64±0.24	S	E
宜昌荚蒾 *Viburnum erosum*	40	18	0.61±0.45	S	D
窄基红褐柃 *Eurya rubiginosa var. attenuate*	318	58	0.58±0.43	S	E
美丽马醉木 *Pieris formosa*	447	26	0.52±0.37	U	E
黄山木兰 *Magnolia cylindrica*	6	4	0.50±0.58	C	D
青冈 *Cyclobalanopsis glauca*	845	99	0.48±0.38	C	E
石栎 *Lithocarpus glaber*	530	92	0.46±0.38	C	E
米槠 *Castanopsis carlesii*	29	11	0.45±0.46	C	E
满山红 *Rhododendron mariesii*	14	6	0.44±0.50	S	D
短尾越桔 *Vaccinium carlesii*	221	54	0.43±0.41	U	E
香桂 *Cinnamomum subavenium*	155	56	0.40±0.42	C	E
日本五月茶 *Antidesma japonicum*	13	6	0.40±0.49	S	E
宁波木犀 *Osmanthus cooperi*	20	10	0.40±0.52	C	E
小叶石楠 *Photinia parvifolia*	36	20	0.39±0.49	U	D
薄叶山矾 *Symplocos anomala*	53	16	0.37±0.47	U	E
海南槽裂木 *Pertusadina hainanensis*	19	11	0.36±0.50	U	D
杨梅 *Myrica rubra*	94	47	0.36±0.45	C	E
黄绒润楠 *Machilus grijsii*	235	38	0.35±0.36	U	E
乳源木莲 *Manglietia yuyuanensis*	4	3	0.33±0.58	C	E

C: 林冠层 Canopy layer; U: 亚乔木层 Sub-canopy layer; S:灌木层 Shrub layer; E:常绿 Evergreen; D:落叶 Deciduous

表 4　科水平的萌生能力差异

Table 4　Variations in sprouting capacity at family level in 5 hm^2 plot

方差分析 ANOVA	自由度 *df*	平方和 Sum Sq	均方和 Mean Sq	*F* 值 *F* value	*P* 值 Pr(>*F*)
科 Family	40	60.07	1.5017	27.45	$<2\times10^{-16}$
残差 Residual	1987	108.69	0.0547		

表 5　萌生能力较强的前 10 个科

Table 5　Sprouting abilities of top 10 families in 5 hm^2 plot

科名 Family	个体数 Individuals	出现的样方数 Plot number of occurrence	萌生能力 Sprouting ability
蜡梅科 Calycanthaceae	3233	113	0.64±0.24
忍冬科 Caprifoliaceae	43	20	0.55±0.47
木兰科 Magnoliaceae	10	7	0.43±0.53
壳斗科 Fagaceae	4052	120	0.40±0.19
杨梅科 Myricaceae	94	47	0.36±0.45
杜鹃花科 Ericaceae	3480	114	0.34±0.23
金缕梅科 Hamamelidaceae	1347	109	0.33±0.29
虎耳草科 Saxifragaceae	785	103	0.31±0.30
三尖杉科 Cephalotaxaceae	8	4	0.28±0.48
山茶科 Theaceae	4840	120	0.26±0.14

2.3 不同功能群的萌生能力差异

不同垂直结构层次的萌生能力差异显著（$F=117.5$，$P<0.001$）。其中，灌木层物种的萌生能力（0.59±0.21）最强，远远超过亚乔木层（$P<0.001$）与林冠层（$P<0.001$）。而亚乔木层（0.30±0.13）与林冠层（0.29±0.15）的萌生能力差异不显著（$P=0.84$）（图 1）。

不同生活型方面，常绿类群（0.37±0.11）的萌生能力显著高于落叶类群（0.21±0.25，$P<0.001$）（图 1）。

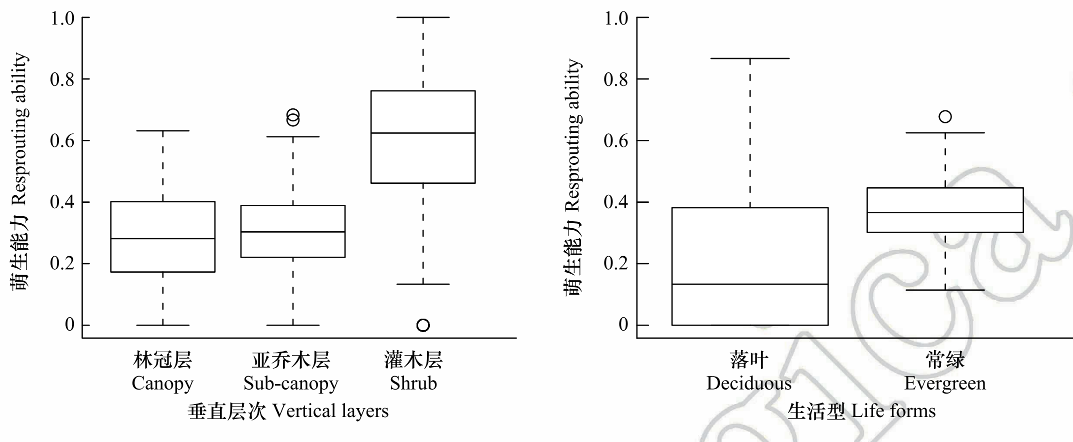


图 1 不同垂直结构层次与不同生活型的萌生能力

Fig.1 Sprouting abilities in different functional groups of vertical layer and life form

3 讨论

3.1 萌生更新在群落中的地位

本次研究发现，古田山 5 hm^2样地内 63.95%的树种、38.51%的茎干都进行萌生更新。这说明萌生更新在古田山常绿阔叶林内占有种类与数量上的优势。以往研究也发现，在遭到一定程度砍伐后，哀牢山中山湿性常绿阔叶林的恢复主要依靠萌生而非种子萌发[22]。古田山茶湾 1 hm^2样地的萌生树种丰度和多度比例分别为 67.3%和 31.7%[23]，天童山亚热带常绿阔叶林 15 个不同土地利用干扰群落中的萌生多度比例高达 74%[5]，由此可见，萌生更新在中国亚热带常绿阔叶林群落内占有重要地位。森林物种的萌生能力受生境、干扰、资源水平等外在因素与内部营养水平和激素合成的影响[11-12]。古田山自然保护区在近 100 年内没有出现大规模火烧、水淹等干扰影响（2008 年初出现冰雪灾害，本文研究数据为 2007 年数据），但 5 hm^2样地内存在坡度较大、土层较薄、岩石裸露率较高的特点，影响土壤与水分条件，可能不利于实生更新，在一定程度上促进了树种的萌生能力。树种萌生在古田山常绿阔叶林内相对普遍，说明萌生更新是该区域森林植被更新的重要生活史对策之一。

3.2 不同分类类群的萌生能力

样地内各个物种之间、各个科之间的萌生能力差异均非常显著，说明不同物种以及不同分类类群的物种的更新策略不同。前人研究也发现物种之间具有萌生能力差异[16, 24]。Vesk 和 Westoby[15]对全球 19 个类群 451 个物种的研究发现，在遭受火灾或人为砍伐后，这些物种和类群的萌生能力存在显著差异，但这些类群的萌生能力在系统进化分枝上并不是保守的，这说明萌生对策在进化历史中可能是一个不稳定的或者多元起源的性状。本研究中，一些物种如腺蜡瓣花、柳叶蜡梅、窄基红褐柃、美丽马醉木、宜昌荚蒾、青冈以及一些科如蜡梅科、忍冬科、木兰科和壳斗科等，较其他物种与分类群采取了更多的萌生更新策略，为古田山常绿阔叶林森林群落的稳定性做出一定贡献。对天童山常绿阔叶林以及古田山茶湾 1 hm^2样地萌生更新的研究同样发现，山茶科的木荷、壳斗科的石栎、蜡梅科的柳叶蜡梅、忍冬科的宜昌荚蒾以及杜鹃花科某些树种的萌生能力较强[5, 23]。在中亚热带常绿阔叶林生态系统的恢复重建中，可优先考虑这些物种作为先锋树种。

3.3 不同功能类群的萌生能力

我们发现,群落不同垂直结构层次上存在显著不同的萌生能力。灌木层物种的萌生能力最强,是林冠层与亚乔木层的 1 倍左右。以往研究也发现,萌生更新多见于灌木层[25-26]。非萌生树种只有一个茎干,通过快速生长占据垂直空间,最终占据林冠层;而萌生树种需要把资源分配给多个萌生茎干,不足以供给单个茎干的迅速垂直生长,通常形成低矮的灌木层[25, 27-28]。本次研究样地中,虽然仅有 27 种灌木树种,但有 59%的个体都属于萌生更新。尤其是柳叶蜡梅,几乎分布在每个样地中,个体数量最多,萌生能力又强。另外,从物种躲避与忍受干扰的策略上看,更多的乔木树种可能凭借迅速生长变得更为高大来躲避或者抵抗环境干扰,从而投资大量种子繁殖;而更多的灌木树种可能由于高度与生长劣势要面临与忍受更多的环境干扰,采取更多的萌生更新策略[8, 29]。古田山亚热带常绿阔叶林灌木层物种具有较强的萌生能力,暗示着萌生可能是一种耐荫策略,在光线不足的生境下多发,维持物种的存活与竞争。

本次研究发现萌生能力在常绿类群与落叶类群这两个生活型功能群中也明显不同,常绿类群的萌生能力显著高于落叶类群。常绿与落叶树种是常绿阔叶林内两种重要的生活型组分[17]。一般认为,常绿树种有较小的比叶面积和较低的光合氮利用效率,这些特征可以使常绿树种节省叶片营养成本,把更多能量和物质投入到结构性物质上,促使常绿植物在土壤贫瘠处占据优势[30-31]。5 hm^2样地内,常绿树种多分布在土层较薄、岩石裸露率较高的山坡区域,落叶树种多分布在土壤相对较厚的沟谷区域。常绿树种具有较高的萌生能力,可能是上述结构性物质投资权衡的结果,也暗示着萌生更新可能与耐土壤贫瘠相关。另外,5 hm^2样地内 66 种落叶树种中,有 56 种为乔木层与亚乔木层树种,这些群落上层树种萌生能力较灌木层树种低,而常绿树种中有将近一半的灌木层树种,这可能是形成常绿树种根萌能力较落叶树种高的原因之一。

4 结论

萌生更新在亚热带常绿阔叶林中占据重要地位,是亚热带常绿阔叶林群落的一种重要的更新机制。不同物种、不同进化类群、不同功能类群的萌生能力存在较大差异。林下灌木物种与常绿物种有着较强的萌生能力,暗示着萌生可能是一种适应荫蔽环境的生态策略。建议未来开展有关常绿阔叶林物种萌生能力进化历史的研究,以及针对萌生对策与实生对策的耐受性实验,深入理解萌生更新在群落中的地位与作用。

致谢:感谢中国科学院植物研究所古田山生物多样性与气候变化研究站、浙江大学、钱江源国家公园生态资源保护中心对本研究工作的帮助。

参考文献(References):

[1] 闫恩荣, 王希华, 施家月, 王希波, 王良衍. 木本植物萌枝生态学研究进展. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2459-2464.

[2] 陈沐, 曹敏, 林露湘. 木本植物萌生更新研究进展. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1114-1118.

[3] Bellingham P J, Sparrow A D. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. Oikos, 2000, 89(2): 409-416.

[4] Clarke P J, Lawes M J, Midgley J J. Resprouting as a key functional trait in woody plants-challenges to developing new organizing principles. New Phytologist, 2010, 188(3): 651-654.

[5] Wang X H, Kent M, Fang X F. Evergreen broad-leaved forest in Eastern China: its ecology and conservation and the importance of resprouting in forest restoration. Forest Ecology and Management, 2007, 245(1/3): 76-87.

[6] Simões C G, Marques M C M. The role of sprouts in the restoration of Atlantic rainforest in southern Brazil. Restoration Ecology, 2007, 15(1): 53-59.

[7] Bond W J, Midgley J J. Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. Trends in Ecology & Evolution, 2001, 16(1): 45-51.

[8] Poorter L, Kitajima K, Mercado P, Chubiña J, Melgar I, Prins H H T. Resprouting as a persistence strategy of tropical forest trees: relations with carbohydrate storage and shade tolerance. Ecology, 2010, 91(9): 2613-2627.

[9] Tanentzap A J, Mountford E P, Cooke A S, Coomes D A. The more stems the merrier: advantages of multi-stemmed architecture for the demography of understorey trees in a temperate broadleaf woodland. Journal of Ecology, 2012, 100(1): 171-183.

[10] 骆争荣, 陈德良, 杨辉, 苏立蕾, 丁炳扬. 百山祖常绿阔叶林厚叶红淡比的萌蘖繁殖特性. 生态学报, 2015, 35(16): 5385-5392.
[11] 朱万泽, 王金锡, 罗成荣, 段学梅. 森林萌生更新研究进展. 林业科学, 2007, 43(9): 74-82.
[12] Bellingham P J, Sparrow A D. Multi-stemmed trees in montane rain forests: their frequency and demography in relation to elevation, soil nutrients and disturbance. Journal of Ecology, 2009, 97(3): 472-483.
[13] Ye J, Hao Z Q, Wang X G, Bai X J, Xing D L, Yuan Z Q. Local-scale drivers of multi-stemmed tree formation in Acer, in a temperate forest of Northeast China. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(3): 320-325.
[14] Hodgkinson K C. Sprouting success of shrubs after fire: height-dependent relationships for different strategies. Oecologia, 1998, 115(1/2): 64-72.
[15] Vesk P A, Westoby M. Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. Journal of Ecology, 2004, 92(2): 310-320.
[16] Shibata R, Shibata M, Tanaka H, Iida S, Masaki T, Hatta F, Kurokawa H, Nakashizuka T. Interspecific variation in the size-dependent resprouting ability of temperate woody species and its adaptive significance. Journal of Ecology, 2014, 102(1): 209-220.
[17] 宋永昌, 王希华, 阎恩荣. 中国常绿阔叶林: 分类 生态 保育. 北京: 科学出版社, 2013.
[18] 于明坚, 胡正华, 余建平, 丁炳扬, 方腾. 浙江古田山自然保护区森林植被类型. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2001, 27(4): 23-28.
[19] 叶铎, 董瑞瑞, 米湘成, 芦伟, 郑振杰, 于明坚, 倪健, 陈建华. 古田山常绿阔叶林萌生特征及其与群落物种多样性的关系. 生物多样性, 2017, 25(4): 393-400.
[20] Condit R. Research in large, long-term tropical forest plots. Trends in Ecology & Evolution, 1995, 10(1): 18-22.
[21] R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016.
[22] 陈沐, 房辉, 曹敏. 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种萌生特征研究. 广西植物, 2008, 28(5): 627-632.
[23] 刘常幸, 金毅, 余建平, 陈声文, 田磊, 王云泉, 陈建华. 古田山茶湾样地甜槠-木荷林根萌特征分析. 浙江大学学报: 理学版, 2014, 41(5): 573-582, 592-592.
[24] Itoh A, Yamakura T, Kanzaki M, Ohkubo T, Palmiotto P A, LaFrankie J V, Kendawang J J, Lee H S. Rooting ability of cuttings relates to phylogeny, habitat preference and growth characteristics of tropical rainforest trees. Forest Ecology and Management, 2002, 168(1/3): 275-287.
[25] Kruger L M, Midgley J J, Cowling R M. Resprouters *vs* reseeders in South African forest trees; a model based on forest canopy height. Functional Ecology, 1997, 11(1): 101-105.
[26] Lasso E, Engelbrecht B M J, Dalling J W. When sex is not enough: ecological correlates of resprouting capacity in congeneric tropical forest shrubs. Oecologia, 2009, 161(1): 43-56.
[27] Clarke P J, Knox K J E. Trade-offs in resource allocation that favour resprouting affect the competitive ability of woody seedlings in grassy communities. Journal of Ecology, 2009, 97(6): 1374-1382.
[28] Shibata R, Kurokawa H, Shibata M, Tanaka H, Iida S, Masaki T, Nakashizuka T. Relationships between resprouting ability, species traits and resource allocation patterns in woody species in a temperate forest. Functional Ecology, 2016, 30(7): 1205-1215.
[29] Vesk P A. Plant size and resprouting ability: trading tolerance and avoidance of damage? Journal of Ecology, 2006, 94(5): 1027-1034.
[30] Jiang Y, Chen X B, Ma J M, Liang S C, Huang J, Liu R H, Pan Y F. Interspecific and intraspecific variation in functional traits of subtropical evergreen and deciduous broadleaved mixed forests in Karst topography, Guilin, Southwest China. Tropical Conservation Science, 2016, 9(4), doi: 10.1177/1940082916680211.
[31] 谢玉彬, 马遵平, 杨庆松, 方晓峰, 张志国, 阎恩荣, 王希华. 基于地形因子的天童地区常绿树种和落叶树种共存机制研究. 生物多样性, 2012, 20(2): 159-167.